

UNIVERSIDAD SAN PEDRO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



**Efecto de la sustitución del agregado grueso por vidrio
blanco en la resistencia del concreto**

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Civil

Autor

Santos Bardales, Mili Yanet

Asesor

Solar Jara Miguel

Huaraz – Perú

2018

Índice General

Contenido

Título	i
Palabras clave - keywords - línea de investigación	ii
Resumen	iii
Abstract	iv
I. Introducción	1
II. Metodología	24
III. Resultados	27
IV. Análisis y discusión	47
V. Conclusiones y Recomendaciones	49
VI. Agradecimientos	50
VII. Referencias bibliográficas	51
VIII. Anexos y apéndices	54

L ISTA DE TABLAS

Tabla N°01. Composición química del cemento	13
Tabla N° 02. Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción [ACI 211]	15
Tabla N° 03. Requerimientos de Agua aproximada de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado	17
Tabla N° 04. Relaciones entre la relación Agua/Cemento y la resistencia a la compresión del concreto	18
Tabla N° 05. Relaciones agua/cemento máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas	18
Tabla N° 06. Volumen de agregado grueso por unidad de volumen del concreto	19
Tabla N° 07. Calculo tentativo del peso del concreto fresco	20
Tabla N° 08. Esquema del diseño experimental	24
Tabla N° 09. Técnicas e instrumentos	25
Tabla N° 10. Composición química expresada como elementos del vidrio reciclado blanco	27
Tabla N° 11. Composición química expresada como óxidos del vidrio reciclado blanco	28
Tabla N° 12. Análisis granulométrico del agregado fino	29
Tabla N° 13. Peso específico y absorción del agregado fino	30
Tabla N° 14. Contenido de humedad del agregado fino	31
Tabla N° 15. Peso unitario suelto y compactado del agregado fino	31
Tabla N° 16. Peso específico y absorción del agregado grueso	32

Tabla N° 17. Contenido de humedad del agregado grueso	32
Tabla N° 18. Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso	33
Tabla N° 19. Diseño de mezcla para el concreto patrón	34
Tabla N° 20. Datos de diseño	35
Tabla N° 21. Corrección de diseño	35
Tabla N° 22. Proporción de diseño	35
Tabla N° 23. Cantidad de materiales de diseño para l concreto patrón	36
Tabla N° 24. Diseño de mezcla para el concreto experimental con el 25% de vidrio	36
Tabla N° 25. Datos de diseño	37
Tabla N° 26. Corrección de diseño.	37
Tabla N° 27. Proporcionamiento de diseño	37
Tabla N° 28. Cantidad de materiales de diseño para el concreto experimental con el 25% de vidrio	38
Tabla N° 29. Diseño de mezcla para el concreto experimental con el 50% de vidrio	38
Tabla N° 30. Datos de diseño	39
Tabla N° 31. Corrección de diseño	39
Tabla N° 32. Proporcionamiento de diseño	39
Tabla N° 33. Cantidad de materiales de diseño para el concreto experimental con el 50% de vidrio	40
Tabla N° 34. Cantidad de materiales y relación A/C para el concreto patrón y experimentales con la sustitución del agregado grueso por vidrio reciclado blanco en un 25 y 50%	40

Tabla N° 35. Resistencia de los especímenes de concreto patrón $f'_c=210$ kg/cm ²	41
Tabla N° 36. Resistencia de los especímenes de concreto experimental $f'_c=210$ kg/cm ² con la sustitución del agregado grueso en un 25% por vidrio reciclado blanco	42
Tabla N° 37. Resistencia de los especímenes de concreto experimental $f'_c=210$ kg/cm ² con la sustitución del agregado grueso en un 50% por vidrio reciclado blanco	43
Tabla N° 38. Análisis de varianza para determinar las diferencias de las resistencias de los concretos patrón y experimentales $f'_c=210$ kg/cm ² .	46

LISTA DE FIGURAS

Figura N° 01. Curva granulométrica del agregado fino	30
Figura N° 02. Evolución de las resistencias a la compresión del concreto patrón y experimentales	44
Figura N° 03. Evolución de las resistencias a la compresión del concreto patrón y experimentales, expresado en porcentajes respecto a la resistencia de diseño.	45

**Efecto de la sustitución del agregado grueso por vidrio
blanco en la resistencia del concreto**

PALABRAS CLAVE:

TEMA	Resistencia del concreto, vidrio
ESPECIALIDAD	Tecnología del concreto

KEYWORDS:

Topic	Concrete Resistance, glass
Specialization	Concrete Technology

LINEA DE INVESTIGACION:

Programa	Ingeniería Civil
Línea de Investigación	Construcción y Gestión de la Construcción
OCDE	2. Ingeniería y Tecnología 2.1. Ingeniería Civil Ingeniería de la construcción
Sub Líneas o Campo de la tecnología	Materiales de la Construcción Tecnología de la Construcción y Procesos Constructivos

Resumen:

El propósito de la investigación fue determinar la resistencia a compresión de mezclas de concreto con sustitución parcial en peso de los agregados pétreos en 25% y 50% por partículas de vidrio reciclado, utilizando agregados del río Santa (cantera de Rumichuco), el vidrio se obtuvo de las tiendas comercializadoras de bebidas ubicadas en la ciudad de Huaraz, el cemento utilizado fue portland tipo I, la finalidad fue encontrar diferentes alternativas de materiales para ser aplicados en el campo de la construcción e ingeniería civil.

Esta investigación trató sobre la sustitución de los agregados gruesos por partículas de vidrio reciclado, para ello se procedió a realizar en primera instancia las características físicas de los agregados: consistente en su contenido de humedad, granulometría, gravedad específica y porcentaje de absorción, peso unitario suelto y compactado, todas estas pruebas fueron realizadas en el laboratorio de la Universidad San Pedro – Huaraz, la composición química del vidrio reciclado molido se realizó en la Universidad Nacional de Ingeniería, el cual indica que el principal componente es el óxido de silicio, seguido de los elementos livianos (del hidrógeno al sodio), al realizar la prueba de la resistencia a la compresión a los 28 días indican que el concreto patrón tiene una resistencia a la compresión menor en 7.02% en comparación con el concreto experimental con la sustitución del agregado grueso por vidrio reciclado blanco en un 25%; mientras que el concreto experimental con la sustitución del agregado grueso por vidrio reciclado blanco en un 50%, está por debajo de la resistencia del concreto patrón en 10.27%.

Abstract

The purpose of the research was to determine the compressive strength of concrete mixtures with partial substitution by weight of the stone aggregates in 25% and 50% by recycled glass particles, using aggregates from the Santa river (Rumichuco quarry), the glass obtained from the stores selling drinks located in the city of Huaraz, the cement used was portland type I, the purpose was to find different alternatives of materials to be applied in the field of construction and civil engineering.

This research dealt with the replacement of coarse aggregates by recycled glass particles, for which the physical characteristics of the aggregates were first carried out: consisting of their moisture content, granulometry, specific gravity and percentage of absorption, unit weight. loose and compacted, all these tests were performed in the laboratory of the University San Pedro - Huaraz, the chemical composition of the milled recycled glass was made in the National University of Engineering, which indicates that the main component is silicon oxide, followed from the light elements (from hydrogen to sodium), when performing the compression resistance test at 28 days, they indicate that the concrete pattern has a lower compressive strength of 5.02% compared to the experimental concrete with the replacement of the coarse aggregate per white recycled glass by 25%; while the experimental concrete with the substitution of coarse aggregate by 50% white recycled glass, is below the resistance of the standard concrete in 10.42%

I. INTRODUCCIÓN

En el sector de la construcción, el uso del vidrio plano ha venido en aumento por las ventajas que ofrece tanto en estética como en iluminación y otros factores como su apariencia transparente y liviana y por la seguridad y versatilidad de los productos del vidrio. Un aumento en el consumo de este material implica a su vez un aumento en la cantidad de residuos generados de los mismos vidrios. Además, no todos los tipos de vidrios planos son reciclables, ya que son fabricados con mezclas de varios metales, plásticos o resinas, presentan impurezas o son mezclados en muchos colores distintos lo que encarece costos de reciclaje (Shi & Zheng, 2007).

Tal es el caso de la empresa Extralum, una de las empresas más grandes que trabajan el vidrio plano en Costa Rica. Esta empresa se dedica a la manufactura, transformación y comercialización del vidrio plano y actualmente manejan más de 12 tipos de vidrios planos. Anteriormente todos los residuos generados de los procesos en esta empresa eran enviados a un relleno sanitario, sin embargo, con la entrada en vigencia de la Ley GIRS (N° 8839) la Vidriera Centroamericana S.A. (Vicesa) viene recibiendo residuos de algunos tipos de vidrio generados, para incorporarlos como materia prima en sus procesos industriales. A pesar de la iniciativa, aún quedan varios tipos de vidrio que no pueden ser reciclados por lo que son llevadas aproximadamente 20 toneladas mensuales al relleno sanitario (Cordero, M., Gómez, A., Vargas, D., 2012).

Catalan, D. (2013). Logra resultados que demuestran la inalterabilidad en las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido al adicionar vidrio por reemplazo de arena, incluso se presenta un incremento en la resistencia cuando el porcentaje de adición en la mezcla es de 10%. Demuestra que la absorción de agua es prácticamente nula en el vidrio, se puede disminuir la cantidad de agua necesaria, para un determinado descenso del cono. La incorporación del vidrio en la mezcla de hormigón permite la reutilización de dicho material, considerando que una gran cantidad de vidrio de desecho es tirado directamente a la basura. Con esto se estaría realizando un aporte a la disminución de volúmenes de desechos sólidos acopiados en vertederos autorizados y clandestinos, además de reducir los costos asociados a la producción de hormigón, en relación con la extracción de áridos. El reemplazo de parte

de los áridos por vidrio triturado no provoca cambios significativos en la densidad del hormigón, no se genera un aumento excesivo del peso final de las probetas, ya que el vidrio posee una densidad del mismo orden que los áridos utilizados, manteniéndose dentro del rango permitido por la norma, para los áridos utilizados en hormigones (entre 2000 y 3000 kg/m³).

Hidalgo, D., Poveda R. (2013). Realiza adoquines fabricados con vidrio reciclado como agregado, donde elaboraron muestras al peso que incorporan vidrio desde el 5, 15, 25 y 35 por ciento, los resultados proporcionados indican que usar el vidrio reciclado incide favorablemente en la resistencia al desgaste del adoquín, la resistencia a la compresión cumple con la especificada por la norma INEN 1488 cuando el porcentaje empleado está entre el 15% y 20%.

Por otra parte, en el sector de la construcción el concreto es el material más usado en todo el mundo y la demanda en su producción también va en aumento, lo que implica la explotación y utilización de productos naturales para la realización de los mismos, como por ejemplo las arenas utilizadas como agregado fino (Federico & Chidiac, 2009).

Además, el proceso para la realización del cemento requiere de mucha energía (muchas veces de fuentes no renovables) lo que genera la emisión de gases que de no ser tratados contribuyen al aumento del efecto invernadero. Por lo que este sector busca continuamente oportunidades de mejora y por ello se ha empezado a estudiar el uso de materiales alternativos en las mezclas, entre los que incluye los residuos de los distintos tipos de vidrio (García, 2013).

Ante estas dos problemáticas se hace necesario buscar alternativas a los residuos de vidrio plano y así evitar su descarga en rellenos sanitarios, ya que esta opción no ofrece un manejo amigable con el ambiente debido a no biodegradabilidad del vidrio, lo que incurre también en disminución de la vida útil del relleno sanitario (Jani & Hogland, 2014).

La recuperación del vidrio se atribuye inicialmente a Alemania y Suiza, aunque fueron los daneses los pioneros en este campo comenzando en 1962. En España, uno

de los líderes mundiales del reciclado se inició con el vidrio doméstico en febrero de 1982, concretamente en Barcelona, con un resultado de 836 Tn. Resulta evidente el progresivo ascenso que ha tenido el reciclado del vidrio desde entonces hasta nuestros días fruto de varios aspectos:

La sensibilización ciudadana hacia los problemas medioambientales.

Las políticas sectoriales más concretas y resolutorias.

El apoyo de las administraciones hacia el reciclado.

En el Ecuador no se ha dejado de lado la investigación en este aspecto, las islas Galápagos conocidas internacionalmente por su maravilloso ecosistema en pro de minimizar el impacto ambiental juntamente con el apoyo de la WWF (World Wildlife Fund) y como pionera la Isla Santa Cruz se ejecuta una consultoría para estudiar de la factibilidad de usar el vidrio reciclado de la isla en materiales de construcción. El hormigón producido por la sustitución parcial del cemento con vidrio reciclado molido del tamaño de micras es compatible con la producción de hormigón convencional en condiciones técnicas. El uso de residuos de vidrio molido como reemplazo parcial de cemento en el hormigón, mejora la resistencia del concreto, la absorción de humedad lo que resulta en la mejora de características de durabilidad. La resistencia a la abrasión y resistencia a largo plazo del hormigón, también se incrementa por la sustitución parcial del cemento con el vidrio reciclado molido cuanto a los niveles de reemplazo el valor óptimo es de aproximadamente el 20% en peso). El hormigón realizado con un reemplazo del 20% del cemento por vidrio molido reciclado ha funcionado satisfactoriamente en la práctica en aplicaciones reales (pavimento y bordillo), con más de dos años de exposición a la intemperie, mostrándose efectivo también para las cargas de tráfico. El uso de residuos de vidrio molido en la fabricación de hormigón es una práctica viable que daría lugar a importantes ahorros en la energía, con beneficios ambientales y de costos, y haría contribuciones importantes hacia la reducción de la huella de carbono de la industria de la construcción. (Castillo, 2010).

Nassar, Soroushian. (2011). Usó vidrio reciclado molido como material cementante y concreto reciclado como agregado, con el fin de producir concreto de resistencia y

durabilidad mejorados. Demostró que el vidrio reciclado, a molienda de grano fina (micro partículas), experimenta reacciones puzolánicas, formando un gel de silicato calcio hidratado (C-S-H). Estas reacciones provocan cambios favorables en la estructura de la pasta de cemento y las zonas de transición interfacial en el concreto de agregados reciclado. Se calcula que el uso de vidrio reciclado molido, como sustitución parcial del cemento, produce ganancias en la resistencia a la compresión y durabilidad del concreto de agregado reciclado. Los resultados de los exámenes son alentadores, se considera que en base a esta investigación permite para facilitar el uso generalizado del concreto reutilizando las grandes cantidades de vidrio y concreto reciclado depositados en rellenos sanitarios para ser utilizado como material cementante y agregado respectivamente.

Soroushian, (2011). Continúa con la investigación en vidrio reciclado, es así que reporta un trabajo realizado en el campus de la universidad del estado de Michigan-USA en el cual reemplaza el cemento entre 15 y 20 % por polvos de vidrio reciclado. Entre los aportes más relevantes de este trabajo se pueden citar los siguientes aspectos.

Que los vidrios reciclados de colores mixtos ofrecen una deseable composición química y reactividad que permiten ser usados como material cementante complementario capaz de mejorar la estabilidad química, el sistema de porosidad, la resistencia a la humedad y la durabilidad de las mezclas de concreto. El autor sostiene que la compatibilidad química del vidrio y del cemento es la clave para un uso satisfactorio del vidrio reciclado molido como sustituto parcial del cemento en las mezclas de concreto. Para corroborar esto, muestra la siguiente tabla con los contenidos principales de estos materiales, en porcentajes de sus pesos totales (wt. %). De esta comparación el aspecto resaltante es el alto porcentaje de silicio que contiene el vidrio lo retribuye sus cualidades puzolánicas que le van a facilitar generar sus reacciones benéficas con los hidratos del cemento. Los resultados reportados para la resistencia a compresión a los 28 días son del orden de 400 kg/cm², bastante altos para un material descartable y de bajo costo.

Peñafiel, (2016). Reporta que el aumento del porcentaje de vidrio que reemplaza a la arena en la mezcla puede permitir disminuir la cantidad de cemento a emplear,

debido a que el vidrio al tener mayor tamaño de partícula, su superficie específica disminuye requiriendo menor cantidad de cemento para cubrirla. Además, visualizó que al incrementar el porcentaje de vidrio la trabajabilidad mejora levemente, debido a la impermeabilidad en el vidrio, que en el caso de la arena la absorción sería mayor. La homogeneidad se mantiene en todos los casos. A los 28 días las muestras ensayadas permiten determinar que las mezclas cuyo porcentaje de vidrio añadido en reemplazo parcial de la arena es de 10, 20 y 30% alcanzan una resistencia ligeramente menor a la resistencia obtenida con las probetas de hormigón común, mientras que en el hormigón elaborado con 40% de vidrio en reemplazo de la arena se obtuvo una resistencia mayor a la del hormigón patrón, logrando 111.8% de la resistencia de diseño.

La presente investigación se fundamenta en la teoría de la tecnología del concreto, en los principios básicos de la resistencia de materiales, así como en los estudios científicos recientes realizados sobre la resistencia del concreto elaborado con la sustitución de los agregados por vidrio molido reciclado.

Vidrio reciclado es un material de bajo costo y que se encuentra en grandes cantidades debido a que es un residuo. Este material que no es biodegradable, actualmente es enviado a predios de enterramiento sanitario municipal, generando graves problemas de contaminación ambiental, solo un pequeño porcentaje del mismo es reciclado.

Por lo tanto, se considera que en esta propuesta se hace necesario investigar sobre el vidrio reciclado como posible material no tradicional, de tal forma que nos permita encontrar un material compuesto que nos proporcione una alternativa económica acorde a los requerimientos de construcción.

Mediante la presente investigación, se busca determinar la resistencia a compresión del concreto con sustitución de los agregados por vidrio molido reciclado, los resultados beneficiaran a las empresas constructoras, a los investigadores y a la sociedad en general, al contribuir en la disminución de la contaminación ambiental.

El cemento es el aglomerante más costoso y el más usado en la industria de la construcción; es por esta razón que se propone una nueva opción empleando la arcilla

como sustituto en reemplazo de un porcentaje del peso del cemento. De esta manera estaremos disminuyendo el costo del concreto.

El esfuerzo que el concreto puede resistir como material compuesto está determinado principalmente, por las características del mortero (mezcla de cemento, arena y agua), de los agregados gruesos y de la interface entre estos dos componentes. Debido a lo anterior, morteros con diferentes calidades y agregados gruesos con diferentes características (forma, textura, mineralogía, resistencia, etc.) pueden producir concretos de distintas resistencias (Nevile, 1999)

Por lo expuesto anteriormente se plantea la siguiente pregunta. ¿Cuál es el efecto de la sustitución del agregado grueso por vidrio blanco en la resistencia del concreto?

El concreto es un material constituido por la mezcla de ciertas proporciones de cemento, agua y opcionalmente aditivos, que inicialmente denota una estructura plástica y moldeable, y que posteriormente adquiere una consistencia rígida con propiedades aislantes y resistentes, lo que lo hace un material ideal para la construcción (Díaz, 1996).

El concreto es un material compuesto formado por partículas de material granular grueso (agregados minerales o rellenos) embebidos en una matriz dura de material (cemento o ligante) que llena los espacios vacíos entre las partículas y burbujas manteniéndolas juntas.

De estas definiciones se puede conceptuar que el concreto es un producto híbrido cuyas características son el resultado de los aportes de las reacciones físico químicas de la interacción de cada componente.

El concreto es la mezcla de cemento Portland, agregado fino, agregado grueso, aire y agua en proporciones adecuadas para obtener ciertas propiedades prefijadas, especialmente la resistencia. El cemento y el agua reaccionan químicamente uniendo las partículas de los agregados, constituyendo un material heterogéneo. Algunas veces se añaden ciertas sustancias, llamadas aditivos, que mejoran o modifican algunas propiedades del concreto. (Abanto, 2009).

Las características del concreto pueden variar en un grado considerable, mediante el control de sus ingredientes, constituido por la mezcla apropiada de cemento, agregado fino (arena), agregado grueso (piedra chancada) y agua. Por tanto, para una estructura específica, resulta económico utilizar un concreto que tenga las características exactas necesarias, aunque esté débil en otras (Osorio, 1996).

La trabajabilidad: Es una propiedad muy importante para muchas aplicaciones del concreto. En esencia, es la facilidad con la cual pueden mezclarse los ingredientes y la mezcla resultante puede manejarse, transportarse y colocarse con poca pérdida de la homogeneidad.

Durabilidad: El concreto debe ser capaz de resistir la intemperie, acción de productos químicos y desgastes, a los cuales estará sometido en el servicio.

Impermeabilidad: Es una importante propiedad del concreto que puede mejorarse, con frecuencia, reduciendo la cantidad de agua en la mezcla.

Resistencia: Es una propiedad del concreto que, casi siempre, es motivo de preocupación. Por lo general se determina por la resistencia final de una probeta en compresión. Como el concreto suele aumentar su resistencia en un periodo largo, la resistencia a la compresión a los 28 días es la medida más común de esta propiedad.

Las principales propiedades del concreto fresco: Trabajabilidad, consistencia, compacidad, segregación, exudación, contracción, peso unitario, contenido de aire.

En el estado endurecido el concreto presenta las siguientes propiedades: Resistencia mecánica, durabilidad, impermeabilidad, estabilidad volumétrica, elasticidad, etc.

Resistencia a la compresión:

Neville (1999). Indica que algunas propiedades del concreto endurecido están relacionadas con esta resistencia, como son: densidad, impermeabilidad, durabilidad, resistencia a la abrasión, resistencia al impacto, resistencia a la tensión, resistencia a los sulfatos. Esto no quiere decir que estas propiedades sean una función simple y única de la resistencia a la compresión, sino que, un concreto de mayor resistencia a la compresión tendrá mejores propiedades

Los principales factores que gobiernan la resistencia del concreto son los siguientes: relación agua/materiales cementantes, condiciones de curado (humedad y temperatura), edad, características y cantidad del material cementante, características y cantidad de los agregados, tiempo de mezclado, grado de compactación y el contenido de aire (Práctica estándar para el curado del concreto, ACI 308).

Cualquier tipo de vacíos llenos de aire reduce la resistencia del concreto en una proporción de 5% de reducción de resistencia por cada 1% de aumento en el volumen de los vacíos llenos de aire.

Las principales exigencias que se deben cumplir para lograr una dosificación apropiada en estado fresco son las de manejabilidad, resistencia, durabilidad y economía (Céspedes, 2003):

Dosificación de una mezcla de concreto.

Las proporciones de la mezcla de concreto que cumpla con dichas características con los materiales disponibles, se logra mediante el sistema de prueba y error o el sistema de ajuste y reajuste.

Dicho sistema consiste en preparar una mezcla de concreto con unas proporciones iniciales y calculadas por diferentes métodos. A la mezcla de prueba se le realizan los diferentes ensayos de control de calidad como asentamiento, pérdida de manejabilidad, masa unitaria, tiempos de fraguado y resistencia a la compresión.

Estos datos se comparan con la especificación y si llegan a ser diferentes o no cumplen con la expectativa de calidad se reajustan las cantidades, se elabora nuevamente la mezcla que debe cumplir todos los ensayos de control de calidad, si nuevamente no cumple los requisitos exigidos es necesario revisar los materiales, el método del diseño y nuevamente otra mezcla de concreto hasta ajustar los requisitos exigidos por la especificación.

Materiales y ensayos:

La propiedad mecánica más preponderante del concreto es su resistencia a la compresión, f'_c , la cual depende de muchos factores como la calidad y proporción de sus materiales, la edad, la forma de elaboración y manejo del concreto fresco y su

curado. Los principales factores que influyen en la resistencia se describen a continuación.

Agregados:

Los agregados constituyen los componentes predominantes del concreto, su selección es importante debiendo consistir en partículas que soporten y resistan las condiciones de la intemperie, además, no deben contener materiales que produzcan efectos perjudiciales. Para el uso eficaz del cemento, es conveniente que la gradación de los agregados sea continua (Céspedes, 2003).

Los agregados o áridos ocupan aproximadamente las tres cuartas partes del volumen del concreto, su uso tiene la finalidad de disminuir costos, brindar resistencia a la aplicación de carga y a la abrasión, además contrarrestar la filtración de humedades y la acción de otros agentes externos.

Los agregados, normalmente obtenidos de cantera o de explotaciones en fuentes hídricas superficiales, son todo material se entiende todo material granular como la arena, la grava, piedra triturada o residuos de hierro de los hornos, que son usados con un medio cementante para formar concretos o morteros (ASTM C125). La proporción de agregados oscila entre setenta a ochenta por ciento de la mezcla que se prepare (Serrano, 2010). La forma, textura y angular entre otras características del material pétreo tienen especial efecto en la resistencia y durabilidad del concreto. (Serrano, 2010).

Los agregados constituyen los componentes predominantes del concreto, su selección es importante debiendo consistir en partículas que soporten y resistan las condiciones de la intemperie, además, no deben contener materiales que produzcan efectos perjudiciales. Para el uso eficaz del cemento, es conveniente que la gradación de los agregados sea continua (Céspedes, 2003).

Son los agregados que provienen de la explotación de fuentes naturales tales como depósitos fluviales (arenas y gravas de ríos) o de glaciales y de canteras de diversas rocas. Se pueden aprovechar en su gradación natural o triturándolos mecánicamente,

según sea el caso, de acuerdo con las especificaciones requeridas, dependiendo del tipo de hormigón que se desea fabricar.

Clasificación de los agregados:

Según, (Abanto F. 2009) “Tecnología del concreto”. Los agregados se clasifican básicamente en agregado grueso y agregado fino.

Agregado fino:

Neville (1999), indica que el agregado fino es aquel que pasa el tamiz 3/8” y queda retenido en la malla N° 200, el más usual es la arena producto resultante de la desintegración de las rocas y cumple con la NTP 400.037. La granulometría del agregado fino empleado en un trabajo determinado debe ser razonablemente uniforme. Las variaciones de más o menos 0.2 en el módulo de fineza pueden ser causa de rechazo. El agregado fino deberá contener suficiente cantidad de material que pasa la malla N° 50 si se desea obtener adecuada trabajabilidad en la mezcla).

Rivva, (2007) afirma que el agregado fino debe tener un módulo de fineza entre 2.3 y 3.1. Ello no excluye la posibilidad de emplear agregados con módulos de fineza mayores o menores si se toman las precauciones adecuadas en la selección de las proporciones de la mezcla. Debe estar compuesto de partículas limpias de perfil angular duras y compactas libre de materia orgánica u otras sustancias dañinas.

El agregado fino es aquel, proveniente de la desintegración natural o artificial de las rocas, que pasa al tamiz 3/8” y que cumple con los límites establecidos en la NTP 400.037. Podrá consistir de arena natural o manufacturada, o una combinación de ambas. Sus partículas serán limpias, de perfil preferentemente angular, duro, compactas y resistentes. Debe estar libre de cantidades perjudiciales de polvo, terrones, partículas escamosas o blandas, esquistos, pizarras, álcalis, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas.

Agregado Grueso.

Según Rivva, (2007). En su libro “Tecnología del Concreto”. Diseño de mezclas., el agregado grueso, es aquel que queda retenido en el tamiz N°4 y proviene de la

desintegración de las rocas y que cumple con la norma NTP 400.037; puede a su vez clasificarse en piedra chancada y grava.

Se denomina agregado grueso al material retenido en el tamiz N° 4 y cumple los límites establecidos en la NTP 400.037. Puede consistir de grava natural o triturada, piedra partida, o agregados metálicos naturales o artificiales. Debe estar conformado por partículas limpias, estables, libres de escamas, tierra, polvo, limo, humus, incrustaciones superficiales, materia orgánica, sales u otras sustancias dañinas, de perfil preferentemente angular o semiangular, duras, compactas, resistentes y de textura preferentemente rugosa (Neville, A., 1999).

La resistencia a la compresión del agregado no será menor de 600 kg/cm². Estará graduado dentro de los límites especificados en la norma NTP 400.037. La granulometría seleccionada no deberá tener más del 5% del agregado retenido en la malla de 1 ½” y no más de 6% del agregado que pasa la malla ¼”.

El tamaño máximo del agregado a tomar será:

1/5 de la menor dimensión entre caras de encofrados ó

1/3 de la altura de las losas ó

¾ del espacio libre mínimo entre varillas individuales de refuerzo.

Para el caso de ser necesario el lavado del material este debe hacerse con agua libre de materia orgánica, sales o sólidos en suspensión.

Cemento:

Abanto (2009). Define como cementos a los materiales pulverizados que poseen la propiedad que, por adición de una cantidad conveniente de agua, forman una pasta conglomerante capaz de endurecer tanto bajo el agua como al aire y formar compuestos estables. También podemos decir de manera general que el cemento es cualquier material que posee propiedades cohesivas

El cemento empleado en la preparación del concreto deberá cumplir con los requisitos químicos y físicos que se indican: (Rivva, 2007)

Las especificaciones para cementos Protland de la Norma ASTM C 150 o NTP, en el caso de los cementos Tipo I (NTP 334.009), Tipo II (NTP 334.038), Tipo V (NTP334.040)

Las especificaciones para cementos hidráulicos Combinados de la Norma ASTM C 595 en el caso de los cementos IP y Tipo IP (M) (NTP 334.044)

Las especificaciones ASTM y/o NTP correspondientes para otros tipos de Cemento si los hubiera.

Componentes químicos:

Silicato dicálcico, es el causante principal de la resistencia posterior de la pasta de cemento.

Silicato Tricálcico, el cual le confiere su resistencia inicial e influye directamente en el calor de hidratación.

Aluminato Tricálcico, el yeso agregado al cemento portland durante la trituration o molienda en el proceso de fabricación se combina con para controlar el tiempo de fraguado.

Aluminio-Ferrito tetra cálcico, influye en la velocidad de hidratación y secundariamente en el calor de hidratación.

Componentes menores: oxido de magnesio, potasio, sodio, manganeso y titanio. (Abanto, 2009, pág. 16)

El cemento portland es un producto comercial de fácil adquisición el cual se obtiene de las materias primas, finalmente molidas y mezcladas calentándose hasta principios de la fusión (1400– 1450 C°) cuando se mezcla con agua, ya sea solo o con combinaciones con arena, piedra u otros materiales similares tiene la propiedad de reaccionar lentamente con el agua hasta formar una masa endurecida (Abanto, 2009, pág. 15)

Según (Rivera, pág. 23) los componentes químicos principales de las materias primas para la fabricación del cemento Portland Tipo I y las proporciones generales en que intervienen son como se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 01*Composición química del cemento*

<i>Items</i>	<i>ASTM C150</i>	
	<i>Units</i>	<i>Specification</i>
	<i>Chemical analysis</i>	
<i>SiO₂</i>	<i>%</i>	<i>≤ 22.0</i>
<i>Al₂O₃</i>	<i>%</i>	<i>≤ 5.80</i>
<i>Fe₂O₃</i>	<i>%</i>	<i>≤ 4.00</i>
<i>CaO</i>	<i>%</i>	<i>≥ 59.00</i>
<i>MgO</i>	<i>%</i>	<i>≤ 6.00</i>
<i>SO₃</i>	<i>%</i>	<i>≤ 3.0</i>

Fuente: Norma ASTM C-150

Existen diferentes tipos de cemento que son:

TIPO I: Para uso general en la construcción con hormigón en condiciones normales, destinados a usos generales: estructuras, pavimentos, bloques, tubos de hormigón.

TIPO II: Adecuado en general para obras hidráulicas por su calor de hidratación moderado y su regular resistencia a los sulfatos.

TIPO III: Rápida resistencia alta, recomendable para sustituir al tipo I en obras de emergencia; adquiere una determinada resistencia, en igualdad de condiciones, en la tercera parte del tiempo que necesita para ello el cemento tipo I.

TIPO IV: De bajo calor, adecuado para la construcción de grandes espesores (presas) porque su calor de hidratación es muy reducido.

TIPO V: De alta resistencia a los sulfatos, recomendable en cimentaciones expuestas a la acción de aguas sulfatadas y agresivas.

Vidrio

Quispe, J. (2009). El vidrio es una sustancia dura, frágil, transparente por lo común, de brillo especial, insoluble en casi todos los cuerpos conocidos y fusible a elevada temperatura. Está formada por la combinación de sílice con potasa o soda y pequeñas cantidades de otras bases, y se fabrica generalmente en hornos y crisoles.

El vidrio es un material que por sus características es fácilmente recuperable. Concretamente el vidrio es 100 % reciclable, es decir, que a partir de un envase utilizado, puede fabricarse uno nuevo o en su defecto productos que pueden tener las mismas características del primero. Esta facilidad de reutilización del vidrio abre un

amplio abanico de posibilidades para que la sociedad y las administraciones afectadas puedan autogestionarse de una manera fácil para el beneficio de su medioambiente. (Quispe, J., 2009).

Otra Definición, nos presenta el MUSEO DEL VIDRIO (2007). El vidrio es un material obtenido por la fusión de compuestos inorgánicos a altas temperaturas, y el enfriamiento de la masa resultante hasta un estado rígido, no cristalino. El principal componente del vidrio es la sílice (SiO_2). La sílice, sola, sería un vidrio ideal para muchas aplicaciones, pero las altas temperaturas necesarias para su fusión y las dificultades para darle forma limitan su uso a algunas aplicaciones especiales. Para reducir la temperatura de fusión de la sílice, es necesario utilizar un fundente, y para ello sirve el óxido de sodio (Na_2O). Como el conjunto SiO_2 - Na_2O es soluble en agua, se añade un tercer elemento, el óxido de calcio (CaO), que le confiere al vidrio la estabilidad química necesaria. El vidrio como uno de los materiales que tienen muchas transformaciones, entre estas podemos encontrar

Método ACI Para Diseño De Mezclas De concreto.

El método estudiado en el presente trabajo tiene como base el procedimiento del American Concrete Institute elaborado por el Comité ACI 211. El método americano ACI es el más conocido y ampliamente usado, fundamentado en el principio básico de la relación agua/cemento desarrollado por Abrams, que consiste en seguir en forma ordenada una secuencia de pasos y determinar la cantidad de cada material en peso y en volumen, para 1m^3 de concreto.

Los factores más importantes que deben considerarse al seleccionar el proporcionamiento de los agregados son en el orden propuesto por el Instituto Americano del Concreto (ACI 211), se incluyen en los siguientes pasos:

PASO 1: Elección del revenimiento para cumplir los requisitos de trabajo:

Cuando no se especifica el revenimiento, puede seleccionarse un valor apropiado para la obra de los que aparecen en Tabla 03.

Tabla N° 02:

Revenimientos recomendados para varios tipos de construcción [ACI 211]

Tipos de Construcción	Revenimiento, cm	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	8	2
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructuras sencillos	8	2
Vigas y muros reforzados	10	2
Columnas para edificios	10	2
Pavimentos y losas	8	2
Concreto masivo	8	2

Fuente: Método ACI 211

El revenimiento se puede incrementar cuando se emplee aditivos químicos, siempre que la mezcla de concreto tenga la misma o más baja relación Agua/Cemento y no exhiba segregación o sangrado excesivo. *También se puede incrementar 2 cm, cuando los métodos de compactación no sean por vibrado.

PASO 2: Elección del tamaño máximo del agregado: Los agregados de tamaño máximo o agregados bien graduados tienen menos vacíos que los tamaños pequeños. Por lo tanto, concretos con tamaños más grandes requieren menos mortero por unidad de volumen del concreto.

Generalmente el tamaño máximo del agregado debe ser el más grande que esté económicamente disponible y el que resulte compatible con las dimensiones de la estructura. En ningún caso el tamaño máximo del agregado grueso debe exceder de 1/5 de la menor dimensión entre los costados de las cimbras, 1/3 del espesor de la losa, ni 3/4 de la separación mínima entre varillas de refuerzo o paquetes de varillas.

PASO 3: Determinación del agua de mezclado y contenido de aire: La cantidad de agua por unidad de volumen de concreto requerida para producir determinado revenimiento, depende del tamaño máximo, de la forma de la partícula y granulometría de los agregados, así como de la cantidad de aire incluido.

En la Tabla 04, aparecen valores estimados del agua de mezclado requerida para concretos hechos con diversos tamaños máximos de agregados, con o sin aire incluido.

Dependiendo de la textura y forma del agregado, los requerimientos de agua de mezclado pueden estar por encima o por debajo de los valores tabulados, pero son suficientemente precisos para una primera estimación.

Tales diferencias en los requerimientos de agua no se reflejan necesariamente en la resistencia, ya que existen otros factores que compensan y que pueden estar incluidos. Por ejemplo, con un agregado grueso redondo y uno angular, ambos similarmente bien graduados y de buena calidad, pueden producirse concretos de aproximadamente igual resistencia a la compresión utilizando la misma cantidad de cemento, a pesar de las diferencias en la relación agua/cemento resultante de los distintos requerimientos de agua de mezclado.

La forma de la partícula en sí, no constituye un indicio de que un agregado este por encima o por debajo del promedio en su capacidad de producción de resistencia. En el cuadro para el cálculo de la cantidad aproximada de aire atrapado que puede esperarse en concretos sin aire incluido, premeditada, y en la parte inferior, el promedio de contenido de aire recomendado para concretos con aire incluido.

Para el caso de que sea necesario o deseable incluir aire, se señalan tres niveles de contenido de aire para cada tamaño de agregado, los que dependen del propósito de la inclusión de aire y de la severidad de la exposición, si la inclusión de aire está en función de la durabilidad [ACI 211].

Exposición Ligera: cuando se desee la inclusión de aire por otros efectos benéficos que no sean la durabilidad, por ejemplo, para mejorar la cohesión o trabajabilidad, o para incrementar la resistencia del concreto con bajo factor de cemento, pueden emplearse contenidos de aire inferiores a los necesarios para la durabilidad. Esta exposición incluye servicio interior o exterior en climas en los que el concreto no estará expuesto a agentes de congelación y deshielo.

Exposición Moderada: implica el servicio en climas en donde es probable la congelación, pero en los que el concreto no estará expuesto continuamente a la

humedad o al agua corriente durante largos periodos antes de la congelación, ni agentes descongelantes u otros productos químicos agresivos.

Exposición Severa: el concreto expuesto a productos químicos descongelantes u otros agentes agresivos, o bien, cuando el concreto pueda resultar altamente saturado por el contacto continuo con humedad o agua corriente antes de la congelación. Ejemplos de estos son: pavimentos, pisos de puentes, guarniciones, desagües, aceras, revestimiento de canales, tanques exteriores para agua o resumideros [ACI 211].

Tabla N° 03

Requerimientos de Agua aproximada de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado [ACI 211].

Agua, Kg/m3 de concreto para tamaño máximo nominal de agregado indicado								
	3/8"	½"	¾"	1"	1 ½"	2"	3"	6"
Revenimiento, pulgadas	10	12.5	20	25	40	50	70	150
Concreto sin aire incluido								
De 1 a 2	207	199	190	179	166	154	130	113
De 3 a 4	228	216	205	193	181	169	145	124
De 6 a 7	243	228	216	202	190	178	160	-
Concreto con aire incluido								
De 1 a 2	181	175	168	160	150	142	122	107
De 3 a 4	202	193	184	175	165	157	133	119
De 6 a 7	216	205	197	184	174	166	154	-

Fuente: Método ACI 211

PASO 4: Elección de la relación agua/cemento: la relación agua/cemento requerida se determina no sólo por los requisitos de resistencia, sino también por otros factores como la durabilidad y las propiedades del acabado.

Puesto que los diferentes agregados y cementos generalmente producen distintas resistencias empleando la misma relación agua/cemento, es muy deseable establecer una relación entre la resistencia y la relación agua/cemento para los materiales que de hecho van a emplearse. En ausencia de estos datos, pueden tomarse de la tabla N° 06 valores aproximados y relativamente conservadores para concretos que contengan cemento Portland Tipo I.

Tabla N° 04

Relaciones entre la relación Agua/Cemento y la resistencia a la compresión del concreto [ACI 211]

Resistencia a la compresión a los 28 días*	Relación agua / cemento (por peso)	
	Concreto sin incluir aire	Concreto con aire incluido
Kg/cm2		
450	0.38	---
400	0.43	---
350	0.48	0.4
300	0.55	0.46
250	0.62	0.53
200	0.7	0.61
150	0.8	0.71

Fuente: Método ACI 211

*Los valores indican las resistencias promedio estimadas para concreto conteniendo un porcentaje de aire no mayor que el indicado en la tabla N° 04 para la relación agua cemento constante. La resistencia del concreto se reduce conforme el contenido de aire aumenta. La resistencia está basada en cilindros de 15 x30 cm.

El promedio de la resistencia seleccionada en la Tablas N° 06, debe exceder la resistencia especificada con un margen suficiente de error para condición de exposiciones severas, la relación agua cemento debe mantenerse baja, aun cuando los requerimientos de resistencia puedan cumplirse con un valor mayor. En la Tabla 08, se establecen los valores límites.

Tabla N° 05

Relaciones agua/cemento máximas permisibles para concreto sujeto a exposiciones severas.

Tipos de estructuras	Estructuras continuas o frecuentemente mojadas y expuestas congelación y deshielo	Estructuras expuestas al agua de mar o a sulfatos
Secciones esbeltas y secciones con menos de 3 cm.	0.45	0.40
Todas las demás estructuras	0.50	0.45

Fuente: Método ACI 211

PASO 5: Cálculo del Contenido de Cemento: la cantidad de cemento por volumen unitario de concreto se rige por las determinaciones expuestas en el paso 3 y 4. El

cemento requerido es igual al contenido estimado de agua de mezclado (paso 3), dividido entre la relación Agua/Cemento (paso 4).

Sin embargo, la especificación incluye un límite mínimo separado sobre el cemento aparte de los requerimientos para la resistencia y durabilidad, la mezcla debe basarse en el criterio que conduzca a una cantidad mayor de cemento.

PASO 6: Estimación del contenido de agregado grueso: los agregados con tamaño máximo y granulometría esencialmente iguales producirán concreto con una trabajabilidad satisfactoria cuando un volumen dado de agregado grueso, seco y varillado, es utilizado por unidad de volumen de concreto.

Valores apropiados de volumen para el agregado grueso están dados en la Tabla 07. Se puede ver que para una trabajabilidad igual, el volumen de agregado grueso por unidad de volumen de concreto depende sólo de su tamaño máximo y del módulo de finura del agregado fino. Este volumen se convierte a masa seca del agregado grueso requerido en un metro cúbico de concreto, multiplicándolo por la masa unitaria de varillado en seco por metro cúbico de agregado grueso [ACI 211].

Tabla N° 06

Volumen de agregado grueso por unidad de volumen del concreto [ACI 211]

Tamaño máximo nominal del agregado grueso		Volumen de agregado varillado en seco, por volumen unitario de concreto para diferentes módulos de finura de la arena			
mm	Plg.	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5	3/8"	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5	1/2"	0.59	0.57	0.55	0.53
19	3/4"	0.66	0.64	0.62	0.60
25	1"	0.71	0.69	0.67	0.65
37.5	1 1/2"	0.75	0.73	0.71	0.69
50	2"	0.78	0.76	0.74	0.72
75	3"	0.82	0.80	0.78	0.76
150	6"	0.87	0.85	0.83	0.81

Fuente: Método ACI 211

PASO 7: Estimación del contenido de agregado fino: al término del paso 6, todos los ingredientes del concreto han sido estimados excepto el agregado fino, cuya cantidad se determina por diferencia. Se pueden emplear cualquiera de estos procedimientos: 1.- método por “peso”, 2.- método de “volumen absoluto”. Si se desea obtener un cálculo teóricamente exacto del peso del concreto fresco por metro cubico, se puede utilizar la siguiente formula:

$$U_m = 10G_a(100 - A) + C_m(1 - G_a/G_c) - W_m(G_a - 1)$$

De donde:

U_m = Peso volumétrico del concreto fresco.

G_a = Promedio obtenido de los pesos específicos de los agregados, fino y grueso combinados al granel.

G_c = Peso específico del cemento, por lo general es de 3.15.

A = Contenido de aire, en %.

W_m = Requerimiento de agua de mezclado Kg/m³.

C_m = Requerimiento de cemento, Kg/m³.

Tabla N° 07

Calculo tentativo del peso del concreto fresco

Tamaño máximo del agregado		Calculo tentativo del peso del concreto, Kg/m ³	
Mm	Plg.	Concreto sin incluir aire	Concreto con aire incluido
9.5	3/8"	2280	2200
12.5	1/2"	2310	2230
19	3/4"	2345	2275
25	1"	2380	2290
37.5	1 1/2"	2410	2350
50	2"	2445	2345
75	3"	2490	2405
150	6"	2530	2435

Fuente: Método ACI 211

En este caso, un procedimiento más exacto para calcular la cantidad de volumen total desplazado por los componentes conocidos (agua, aire, cemento y agregado grueso) se restan del volumen unitario de concreto para obtener el volumen requerido de agregado fino. El volumen ocupado por cualquier componente en el concreto es igual a su peso dividido entre la densidad de ese material.

PASO 8: Ajustes por el contenido de humedad del agregado: debe considerarse la humedad del agregado para que pueda pesarse correctamente. Por lo general, los agregados están húmedos, y su peso en seco habrá que incrementar el porcentaje de agua que contenga, tanto absorbida como superficial. El agua de mezclado que se agrega la mezcla, debe reducirse en una cantidad igual a la humedad libre contenida en el agregado, es decir, humedad total menos absorción.

PASO 9: Ajustes en la mezcla de prueba: las proporciones calculadas de la mezcla deben verificarse mediante de mezclas de prueba, fabricaciones y curados de muestras de concreto para pruebas a tensión y compresión en el laboratorio o por medio de mezclas reales en el campo. Sólo debe usarse el agua suficiente para producir el revenimiento requerido, independientemente de la cantidad supuesta al dosificar los componentes de la prueba. Deben verificarse el peso unitario y el rendimiento del concreto, así como el contenido de aire. También debe tenerse cuidado de lograr la trabajabilidad apropiada y ausencia de segregación, así como las propiedades del acabado [ACI 211].

Fabricación de mezcla y cilindros de concreto.

Para la fabricación de la mezcla se utilizó la mezcladora, teniendo separadas las porciones de los materiales (previamente pesadas) necesarias para cada tipo de mezcla de acuerdo a las cantidades que indica el proporcionamiento, se procedió a realizar la mezcla, como lo indica la norma NMX-C-159-ONNCCE-2004 “Elaboración y curado de especímenes en el laboratorio.

Previamente se humedeció la mezcladora, cuando estuvo apagada la mezcladora se introdujo todo el agregado grueso y una parte de la cantidad total de agua (aproximadamente la mitad), se dejó revolver durante un minuto, posteriormente se

introdujo el agregado fino, el cemento, arcilla y el resto del agua, se dejó revolver la mezcla durante 5 minutos, pasando este tiempo, se procedió a extraer haciendo uso de una carretilla y lampa.

Para eliminar la segregación, se depositó el concreto mezclado por la mezcladora en una carretilla limpia y húmeda, se mezcló con la pala hasta obtener una apariencia uniforme.

Inmediatamente se inició con el llenado de los moldes y las pruebas de caracterización de concreto fresco, realizando el muestreo como lo indica la norma NMX-C-161-ONNCCE-199710

Se fabricaron 27 probetas cilíndricas en el espacio que se encuentra ubicado casi al lado de donde se preparó el concreto de acuerdo a la norma NMX-C-159-ONNCCE-20042, se barrillo adecuadamente el concreto en cada una de las 3 capas de aproximadamente de igual espesor, con 25 golpes cada capa, que se distribuyeron uniformemente a toda la sección transversal del molde y para cada capa superior, permitiendo que la varilla penetre aproximadamente 10 mm dentro de la capa inmediatamente inferior, después de compactar cada capa se golpeó ligeramente con el martillo de hule las paredes del molde para eliminar lo más posible las oquedades que deja la varilla, se procede al enrase dejando una superficie plana y uniforme, para evitar la evaporación del agua en los especímenes de concreto sin fraguar, se cubrió inmediatamente después de terminados con una bolsa impermeable.

La hipótesis planteada es si la sustitución de agregado grueso por vidrio blanco, elevaría la resistencia del concreto.

Se plantea como objetivo general:

“Evaluar el efecto de la sustitución de los agregados por vidrio reciclado en las propiedades del concreto”

Para ello es necesario poder desarrollar los siguientes objetivos específicos:

- Identificar la composición química del vidrio reciclado blanco, a través de la fluorescencia de rayos X.

- Determinar la relación agua/cemento mediante un diseño de mezcla
- Determinar y comparar la resistencia a la compresión del concreto con la sustitución del agregado grueso por vidrio reciclado blanco a los 7, 14, 28 días de curado.

II. METODOLOGÍA

La presente investigación es aplicada, explicativa y de enfoque cuantitativo, en la cual se aplicaron las nuevas tecnologías halladas en el diseño de mezcla que cumplieron con los estándares de calidad y normatividad. Ya que esto permitió utilizar el vidrio reciclado blanco para fabricar probetas de concretos que cumplieron con las especiaciones de la Norma Técnica Peruana y las normas ASTM.

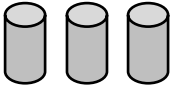






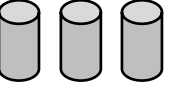
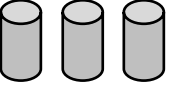
Diseño de investigación: El diseño de la investigación fue experimental, debido a que se manipulo el contenido del cemento sustituyéndolo por la vidrio de la localidad de Huaraz para evaluar su efecto en la resistencia a la compresión del concreto. Para ello se tuvo un diseño en bloque completo al azar donde el gradiente de variabilidad está dado por los días de curado y los porcentajes de sustitución del agregado grueso por vidrio reciclado blanco.

Diseño de bloque completo al azar

Vidrio reciclado en la ciudad de Huaraz.

Tabla N° 08

Esquema del diseño experimental.

Días de curado	Resistencia del concreto con la sustitución del agregado grueso por vidrio reciclado blanco.		
	Patrón	25%	50%
07			
14			
28			

Fuente: Elaboración propia.

Población y muestra:

Población: Para la realización de la presente investigación se tuvo como población de estudio al conjunto de todas las probetas de diseño de concreto según el estándar de construcción establecido $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.

Para lo cual, se tuvo como materiales a los agregados grueso y fino, cemento, vidrio reciclado blanco entre otros.

Los agregados grueso y fino se obtuvieron de la cantera del río Santa ubicado en la localidad de Rumichuco y el vidrio se recolectó de los establecimientos comerciales de la ciudad de Huaraz.

Muestra

La muestra estuvo constituida por 27 probetas de concreto en su totalidad. De las cuales 09 fueron probetas de concreto patrón (convencional) sin ninguna sustitución, 09 probetas de concreto con el 25% de sustitución del agregado grueso por vidrio reciclado blanco 09 probetas de concreto con el 50% de sustitución del agregado grueso por vidrio reciclado blanco.

Tabla N° 09

Técnicas e instrumentos

Técnica	Instrumento
Observación	Guía de observación resumen.
	Fichas técnicas del laboratorio de los ensayos a realizar.

Fuente: Elaboración propia

Elaboración de guía de observación, para la toma de los datos recolectados en el laboratorio. Las guías fueron tomadas con respecto a los siguientes ensayos:

Ensayo Granulométrico para el agregado fino y agregado grueso

Ensayo de peso específico del agregado fino

Ensayo de peso específico del agregado grueso

Ensayo de peso unitario del agregado fino

Ensayo de peso unitario del agregado grueso

Contenido de humedad de los agregados

Composición química del vidrio reciclado blanco.

Diseño de mezcla

Elaboración de probetas

Ruptura de probetas

Procesamiento y análisis de la información.

Para la presente investigación, el procesamiento de datos fue hecho en una hoja de cálculo de Microsoft Excel. Para realizar el análisis de los datos se tuvo en cuenta:

El cálculo de dosificación para el diseño de mezcla de concreto con la sustitución en un 25% y 50% del agregado grueso por vidrio reciclado blanco.

Representación con tablas, gráficos, porcentajes, promedios, varianzas, la prueba ANOVA para identificar las diferencias en las resistencias del concreto patrón y las experimentales.

III. RESULTADOS

TABLA N° 10

Composición química expresada como elementos del vidrio reciclado blanco

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Elementos liviados	62.45	
Silicio (Si)	31.94	
Calcio (Ca)	5.03	Fluorescencia de rayos X
Aluminio (Al)	0.35	
Potasio (K)	0.11	
Hierro (Fe)	0.04	

Fuente: INFORME TÉCNICO N° 0034-18- LABICER

Como se aprecia el elemento químico más importante en su porcentaje es el **Silicio**: exactamente **31.94%**, luego en segundo orden en importancia está el Calcio: 5.03% del total de la composición química.

El análisis se realizó, con el Espectrómetro de fluorescencia de rayos x Shimadzu “edx” 800 hs. Este equipo emplea una técnica de análisis no destructivo permitiendo la medida de una amplia variedad de tipos de muestras (sólidas, polvos, líquidos y films). La espectrometría de fluorescencia de rayos-X consiste en analizar la radiación X característica generada por una muestra al ser ésta irradiada con rayos-X emitido desde un tubo de rayos X, esta información es única para cada tipo de elemento químico detectado.

Tabla N° 11

Composición química expresada como óxidos del vidrio reciclado blanco

COMPOSICIÓN QUÍMICA	RESULTADO (%)	MÉTODO UTILIZADO
Elementos livianos	38.44	
Óxido de Silicio (SiO ₂)	55.18	
Óxido de Calcio (CaO)	5.69	ESPECTROSCOPIA DE ENERGÍA DISPERSIVA (EDS)
Trióxido de Aluminio (Al ₂ O ₃)	0.54	
Óxido de Potasio (K ₂ O)	0.11	
Trióxido de Hierro (Fe ₂ O ₃)	0.001	

Fuente: INFORME TÉCNICO N° 0034-18- LABICER

El análisis del vidrio reciclado blanco, en cuanto a su composición química expresado como óxidos, que el vidrio blanco reciclado tiene el **55.18% de óxido de Silicio**, seguido del Óxido de Calcio en 5.69%. Estos representan los principales componentes químicos de nuestro material en estudio.

Los resultados de análisis de Fluorescencia De Rayos X del vidrio activado mecánicamente. Se observa que dentro de sus componentes químicos más importantes al óxido de silicio en un 55.18%, aluminio en 0.54%, estos valores permiten estimar la actividad puzolanica de este material bajo el estándar de la ASTM.

Tabla N° 12*Análisis Granulométrico del Agregado Fino*

No	TAMIZ	PESO RETEN.	% RETENIDO	% RETENIDO	% QUE PASA
	ABERT. (mm.)	(gr)	PARCIAL	ACUMULADO	
3"	75.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2 1/2"	63.000	0.00	0.00	0.00	100.00
2"	50.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1 1/2"	38.100	0.00	0.00	0.00	100.00
1"	25.000	0.00	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	0.00	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	0.00	0.00	0.00	100.00
3/8"	9.500	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 4	4.750	0.00	0.00	0.00	100.00
N° 8	2.360	114.50	7.98	7.98	92.02
N° 16	1.180	285.00	19.87	27.86	72.14
N° 30	0.600	431.00	30.06	57.91	42.09
N° 50	0.300	352.50	24.58	82.50	17.50
N° 100	0.150	179.50	12.52	95.01	4.99
N° 200	0.075	71.50	4.99	100.00	0.00
PLATO		0.00	0.00	100.00	0.00
TOTAL		1434.00	100.00		
MODULO DE FINEZA		2.70			

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Se presenta en tabla N° 12, el análisis granulométrico del agregado fino utilizado en el diseño de mezcla cuyo módulo de fineza en 2.70. Este material tiene de procedencia la Cantera de Rumichuco -Huaraz.

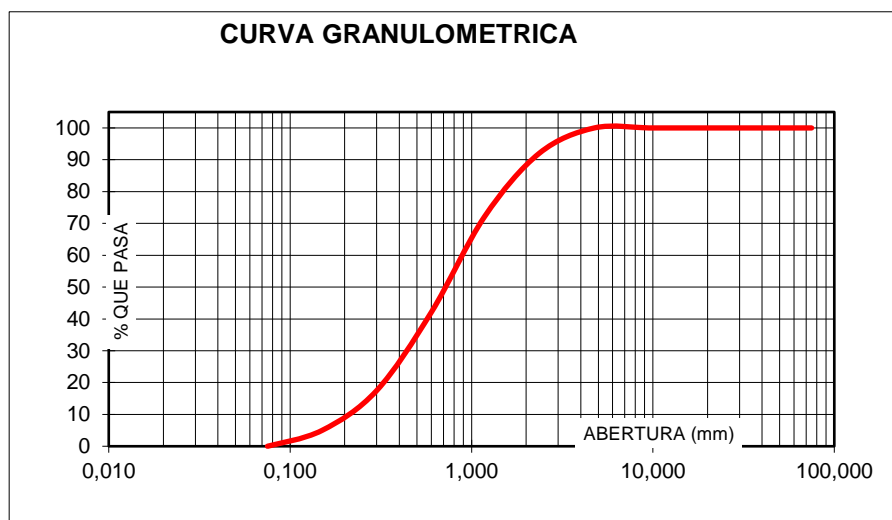


Figura N° 01

Curva granulométrica del agregado fino. Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz.

Tabla N° 13

Peso específico y absorción del agregado fino

MATERIAL : AGREGADO FINO			
A	:		300.00 300.00
B	:	Peso del picnómetro + agua	669.80 669.80
C = A + B	:		969.80 969.80
D	:	Peso del picnómetro + agua + material	856.40 856.00
E = C - D	:	Volumen de masa + volumen de vacíos	113.40 113.80
F	:	Peso de material seco en estufa	296.50 295.00
G = E - (A - F)	:	Volumen de masa	109.90 108.80
ABSORCION (%) :	$((A-F)/F) \times 100$		1.18 1.69
ABS. PROM. (%) :			1.44
P.e. Bulk (Base Seca) =	F/E	2.615	2.592
P.e. Bulk (Base Saturada)=	A/E	2.646	2.636
P.e. Aparente (Base Seca) =	F/G	2.698	2.711
PROMEDIO			
P.e. Bulk (Base Seca)		2.60	
P.e. Bulk (Base Saturada)		2.64	
P.e. Aparente (Base Seca)		2.70	

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 14*Contenido de humedad del agregado fino*

Ítem	Resultado	
Número del Recipiente	1	2
Peso del Recipiente + Suelo Húmedo	772	788.5
Peso del Recipiente + Suelo Seco	746.5	761.5
Peso del Recipiente	165.6	172.8
Peso del Agua	25.50	27.00
Peso del Suelo Seco	580.90	588.70
Contenido de Humedad (%)	4.39	4.59
Humedad Promedio (%)		4.49

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 15*Peso unitario suelto y compactado del agregado fino*

Ensayo N°	1	2	3
Peso Material + Molde	7605	7595	7625
Peso del Molde	3420	3420	3420
Peso del Material	4185	4175	4205
Volumen del molde	2776	2776	2776
Peso Unitario	1.508	1.504	1.515
Peso Unitario Suelto Prom. (Kg/m3)	1509		
Ensayo N°	1	2	3
Peso Material + Molde	8085	8075	8090
Peso del Molde	3420	3420	3420
Peso del Material	4665	4655	4670
Volumen del molde	2776	2776	2776
Peso Unitario	1.680	1.677	1.682
Peso Unitario Compactado Prom. (Kg/m3)	1680		

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 16

Peso específico y absorción del agregado grueso

AGREGADO GRUESO		
Identificación	1	2
A Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en aire)	1403	1507.7
B Peso Mat. Sat. Sup. Seca (en agua)	882.1	927.5
C Vol. De Masas / Volumen de Vacíos	520.9	580.2
D Peso Mat. Seco en estufa (105°C)	1392.9	1496.5
E Vol. De Masas	510.8	569
Pe Bulk (Base Seca)	2.67	2.58
Pe Bulk (Base Saturada)	2.69	2.60
Pe Aparente (Base Seca)	2.73	2.63
% de Absorción	0.73%	0.75%
PROMEDIO		
Pe Bulk (Base Seca)		2.63
Pe Bulk (Base Saturada)		2.65
Pe Aparente (Base Seca)		2.68
% de Absorción		0.74%

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 17

Contenido de humedad del agregado grueso

Ítem	Resultado	
Número del Recipiente	1	2
Peso del Recipiente + Suelo Húmedo	791	910.8
Peso del Recipiente + Suelo Seco	789	908.4
Peso del Recipiente	250.1	282.7
Peso del Agua	2.00	2.40
Peso del Suelo Seco	538.90	625.70
Humedad	0.37	0.38
HUMEDAD PROMEDIO	0.38	

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 18

Peso unitario suelto y compactado del agregado grueso

Ensayo N°	1	2	3
Peso Material + Molde	18380	18365	18460
Peso del Molde	5120	5120	5120
Peso del Material	13260	13245	13340
Volumen del molde	9354	9354	9354
Peso Unitario	1.418	1.416	1.426
Peso Unitario Suelto Prom. (Kg/m3)	1420		
Ensayo N°	1	2	3
Peso Material + Molde	19770	19760	19745
Peso del Molde	5120	5120	5120
Peso del Material	14650	14640	14625
Volumen del molde	9354	9354	9354
Peso Unitario	1.566	1.565	1.564
Peso Unitario Compactado Prom. (Kg/m3)	1565		

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 19

Diseño de mezcla para el concreto patrón

Datos	Agregado	
	Fino	Grueso
Peso Unitario Suelto Kg/m3	1509	1420
Peso Unitario Compactado Kg/m3	1680	1565
Peso Específico Kg/m3	2705	2678
Módulo de Fineza	2.70	
Tamaño máximo		3/4"
% de Absorción	1.44	0.74
% de Humedad	4.49	0.38
Peso Específico - Cemento gr/cm3		3.15
Peso Específico - Agua Kg/m3		1000
F'c		210

Descripción		
Resistencia requerida promedio:	F'cr	210
SLUMP	Δ	3"
Tamaño Máximo	TM	3/4"
Contenido de Aire	Vol	0.020
Contenido de Agua	Litros	205.000
	Vol	0.205
Relación Agua Cemento	A/C	0.680
Cantidad de Cemento	Kg	301.471
	Vol	0.096
Agregado Grueso	Kg	985.904
	Vol	0.368
Agregado Fino	Kg	841.717
	Vol	0.311

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 20
Datos de diseño

Descripción	Unidad	Cantidad
Cemento	Kg	301.471
Agregado Fino	Kg	841.717
Agregado Grueso	Kg	985.904
Agua	Litros	205.000

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 21

Correcciones de diseño

Corrección por Humedad		
Agregado Fino	Kg	879.49
Agregado Grueso	Kg	989.62
Humedad Superficial		
Agregado Fino	Litros	3.05
Agregado Grueso	Litros	-0.36
Aporte de agua a la mezcla		
Agregado Fino	Litros	25.68
Agregado Grueso	Litros	-3.54
Aporte de Agua	Litros	22.13
Cantidad de Agua Efectiva	Litros	182.87

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 22

Proporcionamiento de diseño

PROPORCIONAMIENTO DEL DISEÑO							
Descripción	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	Total	Unidad	
Factor	301	879.494	989.62	182.87	2353	M3	
1/301	1	2.92	3.28	0.6066	8	Proporción	
42.5	42.5	123.99	139.51	25.78	8	Pies3	
Descripción	Cantidad	Volumen					
		Parcial - m3		Total - m3			
Probetas	9	0.0053		0.0477			
Probetas + 10% Desperdicio				0.0549			

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 23

Cantidad de materiales de diseño para el concreto patrón

Calculo de la cantidad de Materiales para las Probetas			
Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua
16.54	48.26	54.30	10.03

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 24

Diseño de mezcla para el concreto experimental con el 25% de Vidrio

Datos	Agregado	
	Fino	Grueso
Peso Unitario Suelto Kg/m ³	1509	1410
Peso Unitario Compactado Kg/m ³	1680	1545
Peso Específico Kg/m ³	2705	2658
Módulo de Fineza	2.7	
Tamaño máximo		3/4"
% de Absorción	1.44	0.74
% de Humedad	4.49	0.38
Peso Específico - Cemento gr/cm ³		3.15
Peso Específico - Agua Kg/m ³		1000
F'c		210
Descripción		
Resistencia requerida promedio:	F'cr	210
SLUMP	Δ	3"
Tamaño Máximo	TM	3/4"
Contenido de Aire	Vol	0.020
Contenido de Agua	Litros	205.000
	Vol	0.205
Relación Agua Cemento	A/C	0.680
Cantidad de Cemento	Kg	301.471
	Vol	0.096
Agregado Grueso	Kg	973.557
	Vol	0.366
Agregado Fino	Kg	846.776
	Vol	0.313

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 25

Datos de diseño

Descripción	Unidad	Cantidad
Cemento	Kg	301.471
Agregado Fino	Kg	846.776
Agregado Grueso	Kg	973.557
Agua	Litros	205.000

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 26

Correcciones de diseño

Corrección por Humedad		
Agregado Fino	Kg	884.78
Agregado Grueso	Kg	977.26
Humedad Superficial		
Agregado Fino	Litros	3.05
Agregado Grueso	Litros	-0.36
Aporte de agua a la mezcla		
Agregado Fino	Litros	25.83
Agregado Grueso	Litros	-3.50
Aporte de Agua	Litros	22.33
Cantidad de Agua Efectiva	Litros	182.67

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 27

Proporcionamiento de diseño

PROPORCIONAMIENTO DEL DISEÑO						
Descripción	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	Total	Unidad
Factor	301	884.78	977.26	182.67	2346	M3
1/301	1	2.93	3.24	0.6059	8	Proporción
42.5	42.5	124.73	137.77	25.75	8	Pies3

Descripción	Cantidad	Volumen	
		Parcial - m3	Total - m3
Probetas	9	0.0053	0.0477
Probetas + 10% Desperdicio			0.0549

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 28

Cantidad de materiales de diseño para el concreto experimental con el 25% de Vidrio

Calculo de la cantidad de Materiales para las Probetas - 25% de vidrio				
Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Vidrio	Agua
16.54	48.55	40.22	13.41	10.02

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 29

Diseño de mezcla para el concreto experimental con el 50% de Vidrio

Datos	Agregado	
	Fino	Grueso
Peso Unitario Suelto Kg/m3	1509	1400
Peso Unitario Compactado Kg/m3	1680	1534
Peso Específico Kg/m3	2705	2648
Módulo de Fineza	2.7	
Tamaño máximo		3/4"
% de Absorción	1.44	0.74
% de Humedad	4.49	0.38
Peso Específico - Cemento gr/cm3		3.15
Peso Específico - Agua Kg/m3		1000
F'c		210
Descripción		
Resistencia requerida promedio:	F'cr	210
SLUMP	Δ	3"
Tamaño Máximo	TM	3/4"
Contenido de Aire	Vol	0.020
Contenido de Agua	Litros	205.000
	Vol	0.205
Relación Agua Cemento	A/C	0.680
Cantidad de Cemento	Kg	301.471
	Vol	0.096
Agregado Grueso	Kg	966.642
	Vol	0.365
Agregado Fino	Kg	849.805
	Vol	0.314

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 30

Datos de diseño

Descripción	Unidad	Cantidad
Cemento	Kg	301.471
Agregado Fino	Kg	849.805
Agregado Grueso	Kg	966.642
Agua	Litros	205.000

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 31

Correcciones de diseño

Corrección por Humedad		
Agregado Fino	Kg	887.94
Agregado Grueso	Kg	970.32
Humedad Superficial		
Agregado Fino	Litros	3.05
Agregado Grueso	Litros	-0.36
Aporte de agua a la mezcla		
Agregado Fino	Litros	25.94
Agregado Grueso	Litros	-3.48
Aporte de Agua	Litros	22.44
Cantidad de Agua Efectiva	Litros	182.56

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 32

Proporcionamiento de diseño

PROPORCIONAMIENTO DEL DISEÑO						
Descripción	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Agua	Total	Unidad
Factor	301	887.94	970.32	182.56	2342	M3
1/301	1	2.95	3.22	0.6056	8	Proporción
42.5	42.5	125.18	136.79	25.74	8	Pies3

Descripción	Cantidad	Volumen	
		Parcial - m3	Total - m3
Probetas	9	0.0053	0.0477
Probetas + 10% Desperdicio			0.0549

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 33

Cantidad de materiales de diseño para el concreto experimental con el 50% de Vidrio

Calculo de la cantidad de Materiales para las Probetas - 50% de vidrio				
Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Vidrio	Agua
16.54	48.72	26.62	26.62	10.02

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

Tabla N° 34

Cantidad de materiales y relación A/C para el concreto patrón y experimentales con la sustitución del agregado grueso por vidrio reciclado blanco en un 25 y 50%

Concreto	Cemento	Agregado Fino	Agregado Grueso	Vidrio	Agua	A/C
Patrón	16.542	48.258	54.301		10.034	0.6066
Experimental con 25% de sustitución	16.542	48.548	40.216	13.405	10.023	0.6059
Experimental con 50% de sustitución	16.542	48.721	26.621	26.621	10.017	0.6056

Fuente: Laboratorio de Suelos y Ensayo de Materiales de la Universidad San Pedro - Huaraz

La relación agua cemento es:

Para el concreto patrón = 0.6066, para el concreto experimental con 25% de sustitución = 0.6059 y para el concreto experimental con 50% de sustitución = 0.6056.

Tabla N° 35

Resistencias de los especímenes de concreto patrón $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$

Ensayo N°	Edad en días	Diámetr o	Área cm	Carga de Ruptur a	F'c Ruptura	F'c Proyecto	% Resistencia	Promedio	
1	7	15.3	183.85	30000	163.17	210	77.70%		
2	7	15.25	182.65	32000	175.19	210	83.43%	169.36	80.65%
3	7	15.25	182.65	31000	169.72	210	80.82%		
4	14	15.25	182.65	35000	191.62	210	91.25%		
5	14	15.25	182.65	34000	186.14	210	88.64%	188.47	89.75%
6	14	15.3	183.85	34500	187.65	210	89.36%		
7	28	15.3	183.85	41250	224.36	210	106.84%		
8	28	15.25	182.65	41320	226.22	210	107.72%	225.27	107.27 %
9	28	15.25	182.65	41140	225.23	210	107.25%		

Fuente: Elaboración Propia.

En la presenta tabla, se presenta las resistencias obtenidas por los especímenes del concreto patrón: a los 07 días de curado, la cual alcanza una resistencia a la compresión promedio de 169.36 kg/cm², que representa al 80.65% de la resistencia proyectada; a los 14 días el concreto patrón tiene una resistencia a la compresión promedio sobre los 188.47 kg/cm², que representa al 89.75% de la resistencia proyectada; mientras que a los 28 días el concreto patrón tiene una resistencia a la compresión promedio esta sobre los 225.27 kg/cm², que representa al 107.27% de la resistencia proyectada.

Tabla N° 36

Resistencias de los especímenes de concreto experimental $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con la sustitución del agregado grueso en un 25% por vidrio reciclado blanco

Ensayo N°	Edad en días	Diámetro	Área cm	Carga de Ruptura	F'c Ruptura	F'c Proyecto	% Resistencia	Promedio	
1	7	15.3	183.85	33500	182.21	210	86.77%		
2	7	15.25	182.65	34000	186.14	210	88.64%	185.20	88.19%
3	7	15.25	182.65	34200	187.24	210	89.16%		
4	14	15.25	182.65	38000	208.04	210	99.07%		
5	14	15.25	182.65	38500	210.78	210	100.37%	210.32	100.15%
6	14	15.3	183.85	39000	212.13	210	101.01%		
7	28	15.3	183.85	43000	233.88	210	111.37%		
8	28	15.25	182.65	42500	232.68	210	110.80%	235.82	112.29%
9	28	15.25	182.65	44000	240.89	210	114.71%		

Fuente: Elaboración Propia.

En la presente tabla, se observa las resistencias obtenidas por el concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 25% por vidrio reciclado blanco, a los 07, 14 y 28 días respectivamente; a los 07 días el concreto experimental tiene una resistencia a la compresión promedio de 185.20 kg/cm^2 , que representa al 88.19% de la resistencia proyectada; a los 14 días el concreto experimental tiene una resistencia a la compresión promedio de 210.32 kg/cm^2 , que representa al 100.15% de la resistencia proyectada; mientras que a los 28 días el concreto experimental tiene una resistencia a la compresión promedio de 235.82 kg/cm^2 , que representa al 112.29% de la resistencia proyectada.

Tabla N° 37

Resistencias de los especímenes de concreto experimental $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$ con la sustitución del agregado grueso en un 50% por vidrio reciclado blanco

Ensayo N°	Edad en días	Diámetro	Área cm	Carga de Ruptura	F'c Ruptura	F'c Proyecto	% Resistencia	Promedio	
1	7	15.3	183.85	29500	160.45	210	76.41%	163.89	78.05%
2	7	15.25	182.65	30000	164.24	210	78.21%		
3	7	15.25	182.65	30500	166.98	210	79.52%		
4	14	15.25	182.65	33500	183.41	210	87.34%	180.28	85.85%
5	14	15.25	182.65	32500	177.93	210	84.73%		
6	14	15.3	183.85	33000	179.49	210	85.47%		
7	28	15.3	183.85	37500	203.97	210	97.13%	203.40	96.86%
8	28	15.25	182.65	37000	202.57	210	96.46%		
9	28	15.25	182.65	37200	203.66	210	96.98%		

Fuente: Elaboración Propia.

En la presente tabla, se observa las resistencias obtenidas por el concreto experimental con la sustitución del agregado grueso en un 50% por vidrio reciclado blanco, a los 07, 14 y 28 días respectivamente; a los 07 días el concreto experimental tiene una resistencia a la compresión promedio de 163.89 kg/cm^2 , que representa al 78.05% de la resistencia proyectada, mientras que a los 14 días tiene una resistencia promedio de 180.28 kg/cm^2 , que representa al 85.85% de la resistencia proyectada, finalmente a los 28 días tiene una resistencia promedio de 203.40 kg/cm^2 , que representa al 96.86% de la resistencia proyectada.

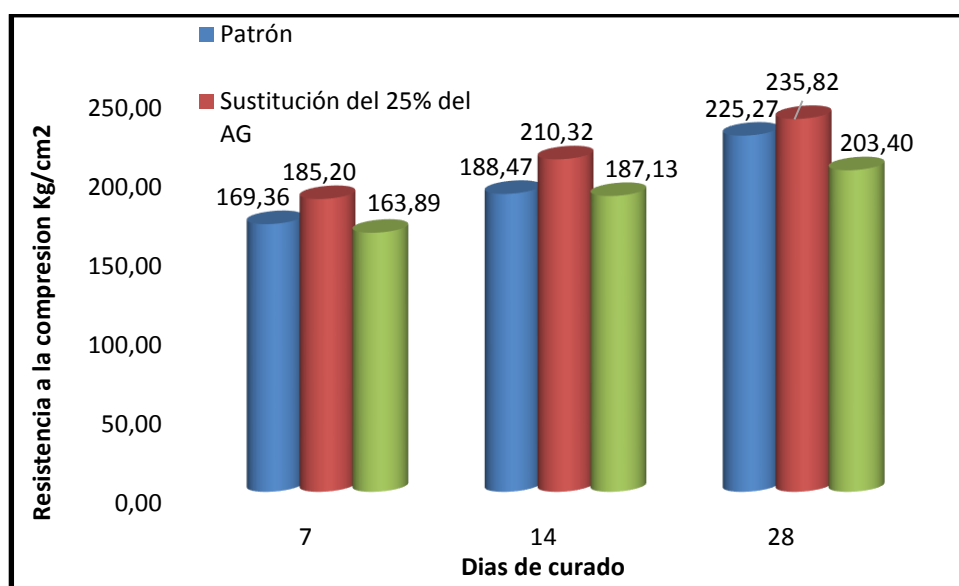


Figura N° 02

Evolución de las resistencias a la compresión del concreto patrón y experimentales

En la figura, se aprecia las resistencias obtenidas por el concreto patrón y los concretos experimentales a los 07, 14 y 28 días.

En los días, que se han puesto a prueba las resistencias el concreto experimental con la sustitución del vidrio en un 25% del agregado grueso obtiene mayores resistencias que el concreto patrón y la experimental con la sustitución del agregado grueso por vidrio en un 50%.

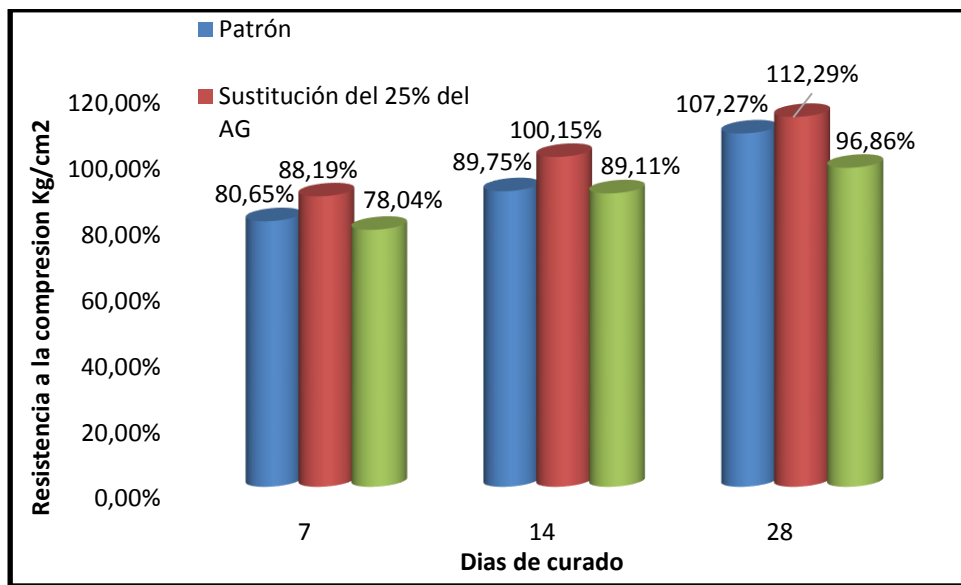


Figura N° 03

Evolución de las resistencias a la compresión del concreto patrón y experimentales, expresado en porcentajes respecto a la resistencia de diseño.

En la presente figura, se aprecian las resistencias obtenidas por el concreto patrón y experimentales a los 07, 14 y 28 días.

Al observar el bloque de las resistencias a la compresión de los especímenes a los 28 días, tanto el concreto patrón como la experimental con la sustitución del agregado grueso en un 25% por vidrio reciclado blanco cumplen con la resistencia proyectada; mientras que el concreto con la sustitución del agregado grueso en un 50% por vidrio reciclado blanco llega solo al 96.86%.

Tabla N° 38

Análisis de varianza para determinar las diferencias de las resistencias de los concretos patrón y experimentales $f'_c=210 \text{ kg/cm}^2$.

<i>Origen de las variaciones</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Grados de libertad</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Valor crítico para F</i>
Días de curado	1007.07	2	503.53	16.30	0.012	6.94
Sustitución	3561.29	2	1780.64	57.66	0.001	6.94
Error	123.53	4	30.88			
Total	4691.89	8				

Fuente: Elaboración Propia.

Al observar los valores de la Probabilidad iguales a (0.012 y 0.001) podemos concluir con nivel de 5% de significancia que las resistencias medidas en kg/cm^2 logradas por los especímenes de concreto patrón y los concretos experimentales con la sustitución del 25% y 50% del agregado grueso por vidrio reciclado blanco son diferentes. Así mismo al comparar los valores de la $F_{\text{calculada}}$ y $F_{\text{crítico}}$, tal como se puede ver en la presente Tabla ($16.30 > 6.94$ y $57.66 > 6.94$), indican que existen diferencias significativas entre las resistencias a la compresión del concreto patrón y las experimentales teniendo a consecuencia de los días de curado y también a raíz de las sustitución del agregado grueso por vidrio reciclado blanco.

IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN

En relación a los resultados y a los antecedentes, tenemos lo siguiente:

El vidrio reciclado blanco tiene como su principal componente al óxido de silicio el cual favorece la resistencia a la compresión hasta cierto porcentaje de sustitución, pero al sustituir en un 50% el agregado grueso por vidrio reciclado blanco la resistencia a la compresión del concreto disminuye considerablemente con respecto al concreto patrón, y no cumple con la resistencia especificada.

La resistencia del concreto patrón es superado por la resistencia del concreto con la sustitución del agregado grueso en un 25%, mientras que la resistencia del concreto con la sustitución del agregado grueso en un 50% es menor que la resistencia del concreto patrón, esto se debe a la composición de óxidos del vidrio reciclado blanco, que afecta a medida que el porcentaje de sustitución aumenta; por lo que la resistencia a la compresión es inversamente proporcional al porcentaje de sustitución.

El análisis de varianza realizado a las resistencias a la compresión del concreto patrón y experimentales, indica que existen diferencias significativas en las resistencias a la compresión, esto raíz de la sustitución del agregado grueso por vidrio reciclado blanco en un 25 y 50% respectivamente.

Catalan, D. (2013). Concluye la inalterabilidad en las propiedades del hormigón en estado fresco y endurecido al adicionar vidrio por reemplazo de arena, incluso se presenta un incremento en la resistencia cuando el porcentaje de adición en la mezcla es de 10%, estos resultados son idénticos a los encontrados en la presente investigación, ya que al sustituir el agregado grueso en un 25% mejora la resistencia a la compresión, mientras que la sustitución del agregado grueso en un 50% disminuye considerablemente su resistencia a la compresión.

Asimismo, la investigación realizada por Hidalgo, D., Poveda R. (2013). Quienes realizaron adoquines fabricados con vidrio reciclado como agregado, donde elaboraron muestras al peso que incorporan vidrio desde el 5, 15, 25 y 35 por ciento, los resultados proporcionados indican que usar el vidrio reciclado incide favorablemente en la resistencia al desgaste del adoquín, la resistencia a la compresión

cumple con la especificada por la norma INEN 1488 cuando el porcentaje empleado está entre el 15% y 20%, al comparar estos resultados con los de la presente investigación es preciso mencionar que la sustitución del agregado grueso en un 25% por vidrio reciclado blanco favorece la resistencia a la compresión del concreto, mientras que al sustituir en un 50% al agregado grueso la resistencia disminuye considerablemente.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

En la presente investigación se llegó a las siguientes conclusiones:

El vidrio reciclado blanco tiene el 31.94% de Silicio: y el 5.03% Calcio: como sus principales componentes.

La relación agua / cemento para el concreto patrón = 0.6066, para el concreto experimental con 25% de sustitución = 0.6059 y para el concreto experimental con 50% de sustitución = 0.6056.

A los 28 días, las resistencias el concreto experimental con la sustitución del vidrio en un 25% del agregado grueso es el que tiene mayor resistencia, seguido del concreto patrón y el concreto con la sustitución del agregado grueso por vidrio en un 50% y logra la resistencia de diseño.

RECOMENDACIONES

Formular nuevos diseños de mezcla, incluyendo al vidrio reciclado como material cementante y agregado, a fin de potenciar al máximo su uso.

Seguir trabajando con los agregados de la cantera de Rumichuco, debido a que tienen las características apropiadas que producen concretos que alcanzan resistencias óptimas.

Continuar el trabajo de investigación para aumentar el número de canteras que permita tener el trabajo de análisis comparativo y determinar la procedencia de agregados que producen mayores resistencias.

VI. AGRADECIMIENTOS

A DIOS, por regalarme la vida, por guiarme mis pasos cada día, por estar conmigo cada momento, por tantas bendiciones, por los triunfos, por los fracasos y por permitir cumplir uno de mis sueños. Obtener mi título de ingeniero.

A MIS PADRES, Víctor Santos Sánchez y Lidia Bardales Garrido, todo se lo debo a ellos agradecerles, si no hubiese sido por sus sacrificios, consejos, oraciones, comprensión y todo el apoyo que me brindaron en el transcurso de toda mi vida, mis metas y mi sueño de ser un profesional no la hubiera podido conseguir....es por ello que este triunfo es por y para ellos.

A MIS HERMAN@S, Arturo Santos Bardales, Dulio Santos Bardales, Oscar Santos Bardales, Walter Santos Bardales, Noyma Edid Santos Bardales y Dayan Santos Bardales, por su apoyo incondicional, sacrificios y por darme ánimos siempre a lo largo de todo este camino....gracias hermanos.

A MIS COMPAÑER@S Y AMIG@S, siempre me brindaron su apoyo desinteresadamente y me apoyaron a lo largo de la carrera...gracias Alberto Tinoco y Víctor Mejía Falcón.

Y a todos los que de una manera u otra han influenciado a lo largo de mi vida para conseguir mi formación personal.

“No hay secreto para el éxito. Este se alcanza preparándose, trabajando arduamente y aprendiendo del fracaso”

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abanto, F. (2009). Tecnología del Concreto. 3° edic. Perú: San Marcos.
- ASTM C-127. (2004). Gravedad Específica y Absorción Agregado Fino. Recuperado de <https://es.slideshare.net/Jayagupta286/astm-c127>
- ASTM C 136-06. (2005). Análisis granulométrico del agregado fino según los requisitos físicos de gradación. Recuperado de <https://es.scribd.com/doc/276047132/ASTM-C-136-06-pdf>
- ASTM D-2216. (2010). Contenido De Humedad Agregado Fino. Recuperado de <https://prezi.com/uhr7gilisqrg/contenido-de-humedad-astm-d2216/>
- Catalan, D.A. (2013). Estudio de la influencia del vidrio molido en hormigones grado h15, h20, y h30 (Tesis de pregrado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile. Recuperada de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfcic357e/doc/bmfcic357e.pdf>
- Cruz G. (2014). Concreto liviano de alto desempeño con arcilla, (México).
- Federico, L., & Chidiac, S. (2009). Waste glass as a supplementary cementitious material in concrete - Critical review of treatment methods. Cement & Concrete Composites, 31, 606 - 610.
- Hidalgo, D.S., Poveda, R.A. (2013). Obtención de adoquines fabricados con vidrio reciclado como agregado (Tesis de pregrado). Escuela Politécnica Nacional, Quito, Ecuador. Recuperada de <http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/6104/1/CD-4795.pdf>
- Jani, Y., & Hogland, W. (2014). Waste glass in the production of cement and concrete. Journal of Environmental Chemical Engineering.
- Neville, A. M. (1999). Tecnología del Concreto, México: Instituto Mexicano del Cemento y del Concreto.
- NTP 339.088. (2004). Requisitos de calidad del agua para el concreto. Recuperado de: <https://es.slideshare.net/kiaramirellaporrascrisostomo/ntp-339088>

- NTP 400.012. (2001). Agregados. Análisis granulométrico del agregado fino, grueso y global. Recuperado de: http://biblioteca.uns.edu.pe/saladocentes/archivoz/publicacionez/norma_tecnica_peruana_dos.pdf
- NTP 400.037. (2001). Agregados. Análisis granulométrico del agregado grueso.
- Peñañiel, D.A. (2016). Análisis de la resistencia a la compresión del hormigón al emplear vidrio reciclado molido en reemplazo parcial del agregado fino (Tesis de pregrado). Universidad Técnica de Ambato, Ambato, Ecuador. Recuperada de [http://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23038/1/Tesis_1011 - Peñañiel Carrillo Daniela Alejandra.pdf](http://redi.uta.edu.ec/bitstream/123456789/23038/1/Tesis_1011_-_Peñañiel_Carrillo_Daniela_Alejandra.pdf)
- Rivva, E. (2007). Diseño de Mezclas. Perú: Editorial Hozlo S.C.R.L.
- Rojas, J.F. (2015). Estudio experimental para incrementar la resistencia de un concreto $f'_c = 210 \text{ kg/cm}^2$ adicionando un porcentaje de vidrio sólido cálcico (Tesis de pregrado). Univesidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú. Recuperada de <http://repositorio.upao.edu.pe/handle/upaorep/2040>
- Shi, C., & Zheng, K. (2007). A review on the use of waste glass in the production of cement and concrete. *Resources, Conservation & Recycling*, 52, 234 - 247.
- Castillo, M. (2010). *Investigación de la utilización del vidrio molido como material de construcción y técnicas constructivas* (Informe N° 02). Isla Santa Cruz, Galápagos, Ecuador, World Wildlife Fund. Recuperada de http://awsassets.panda.org/downloads/fz08_producto_2_marcelo_castillo_corregido_anexo.pdf
- Cordero, M., Gómez, A. L., & Vargas, D. (2012). Vidrios planos. Ingeniería Ambiental, Tecnológico de Costa Rica, Proyecto Final del curso de Gestión de Residuos Sólidos, Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.
- Díaz L. (1996). Optimización de los agregados para concreto. "Construcción y tecnología," (México), 9 (100), p.30.

- Nassar, R., Soroushian, P. (2011). *Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement*. Construction and Building Materials J. (online). Vol. 29, pp. 368. Recuperada de <http://news.msu.edu/media/documents/2012/02/2bebe2ce-4e0a-49ce-a450-a142a112bde4.pdf>.
- Céspedes, M. (2003). Resistencia a la Compresión del Concreto A partir de la Velocidad de Pulsos de Ultrasonido, Tesis de Ingeniería Civil. Universidad de Piura, Perú.
- García, E. (2013). Estudio de factibilidad bloques de hormigón con agregado de residuo plástico abs. Instituto Tecnológico de Santo Domingo, República Dominicana.
- Osorio, G. (1996). Aggregates and the deformation properties of concrete. "ACI Materials journal," (U.S.A.), 93 (6), p. 576.
- Serrano, T. (2010). El control de calidad en los agregados para concreto 3a parte. "Construcción y tecnología," (México), (40), p. 34.
- Museo del vidrio (2007). Importancia del vidrio (en línea).Disponible en: <http://museovidrio.vto.com/htm>.
- Quispe, J. (2009). *La producción de cemento en el Perú*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional Santiago Abad del Cusco, Cusco, Perú. Recuperado de: <http://www.monografias.com/trabajos94/caracteristicas-historia-del-cemento/caracteristicas-historia-del-cemento.shtml>.

VIII. ANEXOS Y APÉNDICES

Panel fotográfico



Recolección de vidrio reciclado blanco



Limpieza de vidrio reciclado.



Preparando la mezcla para las probetas.



Golpeando los cilindros con el martillo de goma.



Rotura de las probetas de concreto.